

Polifoszfátok hidrolízise a talajban

GHONSIKAR, C. P. és MILLER, R. H.

*Rajasthan-i Mezőgazdasági Főiskola Talajtani Tanszéke,
Udaipur, Rajasthan, India és Ohio-i Állami Egyetem,
Columbus, Ohio, USA*

A polifoszfátok műtrágyaként való felhasználása a talajban végbemenő átalakulásuk kutatására irányította a figyelmet. A polifoszfát műtrágyák hatékonysága ortofoszfáttá történő hidrolízisük mértékétől függ. Sok olyan tényező [11] befolyásolja a hidrolízist, amelyek nagy jelentőségűek lehetnek a talaj-növény rendszerben. SLACK és munkatársai [6] nem tapasztalták a szuperfoszforsav ammóniumsójának mérhető hidrolízisét egy évi 32° F-on történő tárolás alatt. 132° F hőmérsékleten viszont a polifoszfát forma 30—42%-os csökkenését figyelték meg. A hőmérséklet és a talajokban végbemenő pirofoszfát hidrolízis mértéke közötti összefüggés megállapítására SUTTON, GUNARY és LARSEN [7] laboratóriumi kísérleteket végeztek. Vizsgálataik szerint alacsony hőmérsékleten kismértékű volt a hidrolízis, amely a maximumát 30—35 °C-on érte el. A hidrolízis sebességének mértéke meglehetősen különbözik az egyes talajokban és nagymértékben függ a talaj hőmérsékletétől. SUTTON és LARSEN [8] a pirofoszfátok hidrolízisének sebességében mutatkozó különbségeket a talaj biológiai tevékenységének (CO₂ fejlődésnek) és pH-jának tulajdonítják.

THILO [10] három csoportba sorolja azokat a reakciókat, amelyek részt vesznek a polifoszfát hidrolitos lebomlásban: 1. az ortofoszfát lehasadása a láncvégről; 2. rövidebb láncok kialakulása a lánc egy vagy több pontján történő szétszakadása által; 3. kis gyűrűk kialakulása négy-nél több PO₄ csoportot tartalmazó lánc szétszakadása során. Azt is megfigyelte, hogy a fémionok katalizálták a polifoszfátok hidrolitos lebomlását. Több szerző [4, 5, 9] viszont — tiszta kultúrákkal folytatott kísérletek alapján — biológiai hidrolízisről számolt be, amelyet sokféle enzim képes katalizálni. Jelen tanulmánynak az a célja, hogy meghatározza a talajban végbemenő polifoszfát-hidrolízist befolyásoló kémiai és biológiai tényezők szerepét.

Anyagok és módszerek

Háromféle talajon végeztük vizsgálatainkat: 1. Brookston-i agyagos vályogtalajon, 2. Miami-i vályogtalajon és 3. Rossmoyne-i vályogtalajon. A légszáraz átlagmintákat 2 mm-es szintén engedték át a 4 °C-on történő tárolást megelőzően. A fenti talajok fizikai és kémiai tulajdonságait az 1. táblázat tünteti fel.

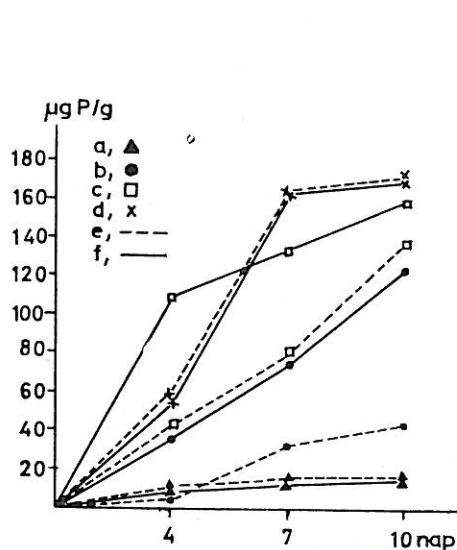
A szintetikus szervesetlen polifoszfátokat ($\bar{n} = 174$) E. J. GRIFFITH bocsáj-totta rendelkezésünkre (Monsanto Chemical Company, St. Louis, Missouri).

1. táblázat

A talajok fizikai és kémiai tulajdonságai

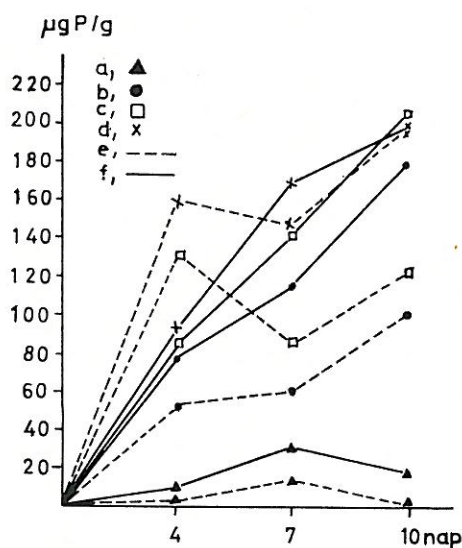
| (1) Talajok | (2) Vízáteresztés | (3) Mechanikai összetétel % | | | | pH | (8) Szerves C | (9) Kicsérélhető kationok mg/100 g | | |
|----------------|-----------------------|-----------------------------------|--------------|--------------|-------------------|-----|---------------------|--|------------------|------------------|
| | | (4) Homok | (5) Iszap | (6) Agyag | (7) Szövet | | | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
| Brookston | a) gyenge | 9,4 | 52,1 | 38,6 | agyagos vályog | 6,4 | 3,2 | 0,2 | 17,1 | 5,8 |
| Miami | b) közepes | 20,0 | 60,5 | 19,6 | vályog | 7,1 | 1,6 | 0,2 | 11,0 | 3,8 |
| Rossmoyne | c) gyenge- közepes | 7,0 | 74,0 | 19,0 | vályog | 6,7 | — | 0,7 | 7,9 | 1,8 |

Kísérleteink során, amelyekben a polifoszfát talajban végbemenő hidrolízisének a sebességét kívántuk tanulmányozni, 5–10 g légszáraz talajmintát tettünk csavaros fedelű pyrex kémcsőbe (20×125 mm), és grammonként 200 μg P-nak megfelelő mennyiségű polifoszfátot adtunk hozzá. A nedvesítés 1/3 bar nedvességtartalomig történt. A mintákat 4 °C-on, szobahőmérsékleten (kb. 25 °C-on), 35 °C-on és 55 °C-on inkubáltuk 4,7 ill. 10 napon keresztül. Egyes kezeléseknél külső szénforrásként 1 és 2%-os glükózt alkalmaztunk. Minden



1. ábra

A polifoszfát ($\bar{n} = 174$) hidrolízise steril és nem steril Brookston-i agyagos vályogtalajban különböző hőmérsékleten történő inkubálás során. Függőleges tengely: ortofoszfát-P, μg P/g. Vízszintes tengely: idő, napokban. a) 4°C; b) szobahőmérséklet (kb. 25 °C); c) 35 °C; d) 55 °C; e) steril talaj; f) nem steril talaj.



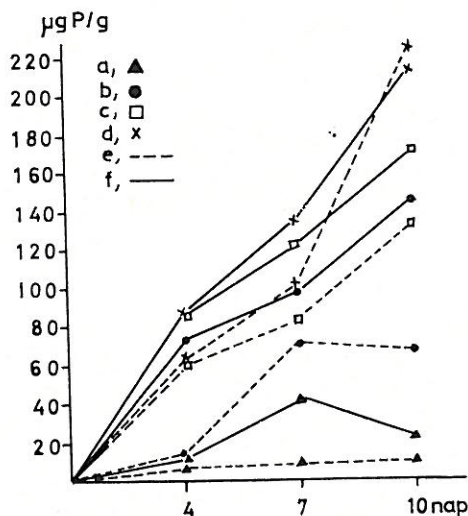
2. ábra

A polifoszfát ($\bar{n} = 174$) hidrolízise steril és nem steril Miami-i vályogtalajban különböző hőmérsékleten történő inkubálás során. Jelzéseket lásd 1. ábra

inkubációs időszak végén a mintákat 0,5 M perklórsavval extraháltuk, 4 °C-on, 4–6 órán keresztül. A talaj és a kivonószer aránya 1 : 5 volt. A perklórsavas kivonatnak a szerves foszforvegyületektől való megtisztítására aktív csontszén használtunk. Az ortofoszfát meghatározást BRIGGS szerint végeztük. A kivonat 20 perces 1 N HCl-os hidrolízise után (100 °C vízfürdőn) a savval hidrolizálható foszfátokat ortofoszfátként mértük. A különböző lánc hosszúságú polifoszfátokat kromatográfiás módszerrel Sephadex G-25 oszlopon választottuk szét. Az oszlopot (2,5 × 45 cm) 0,1 M KCl-dal eluáltuk. A lecsepegő folyadékot 1 ml-es frakciókban fogtuk fel V₁₅GME térfogatú frakcionáló készülékkel, amelynek az átfolyási sebessége 20–25 ml/óra volt. A polifoszfátok biológiai és kémiai hidrolízisének elkülönítése végett a kísérleteket steril és nem steril talajmintákon végeztük. A talajok biológiai aktivitását külön kísérletben mértük, meghatározva a 100 g talajból naponta felszabaduló CO₂-ot.

Eredmények és értékelésük

A polifoszfátoknak a talajokban mind biológiai, mind kémiai hidrolízise lehetséges [1, 3, 7]. E reakciókat számos tényező befolyásolhatja. A sterilizált talajmintában az ortofoszfátok kémiai hidrolízis következtében jelennek meg, míg a nem steril talajban a hidrolízis kémiai és biológiai tényezők eredménye. Az eredményeket az 1., 2. és 3. ábra mutatja. A hidrolízis sebessége 4 °C-on nagyon lassú volt mind steril, mind nem steril talajokban. SUTTON és LARSEN [8] vizsgálata szerint alacsony hőmérsékleten (7–12 °C-on) a pirofoszfátok hidrolízise is lassú volt, a talajok biológiai aktivitására való tekintet nélkül. A polifoszfát hidrolízis sebessége minden talajban megnövekedett a hőmérséklet emelkedésével. A szobahőmérsékleten és 35 °C-on — steril és nem steril talajokban — mért hidrolízis-sebességek különbségeit alkalmaztuk a biológiai és kémiai hidrolízis mértékének jellemzőjeként. A biológiai hidrolízis a Brookston-i és Rossmoyne-i talajokban a teljes inkubációs idő alatt jelentős volt. A Miami-i talaj steril mintáinak nyilvánvalóan kémiai hidrolízise az inkubáció negyedik napja után felülmúlta a nem steril talajminták együttes biológiai és kémiai hidrolízisének a mértékét. 55 °C-on az ortofoszfátok mennyiségének a növekedése — mind a steril, mind a nem steril talajokban — azt mutatja, hogy ezen a hőmérsékleten a kémiai hidrolízis az elsődleges, de az inkubációs időszak során jelentős különbségek jöttek létre a steril és nem steril mintákban. A biológiai hidrolízis mértéke — 10 nap alatt — szobahőmérsékleten a Brookston-i, a Rossmoyne-i és a Miami-i

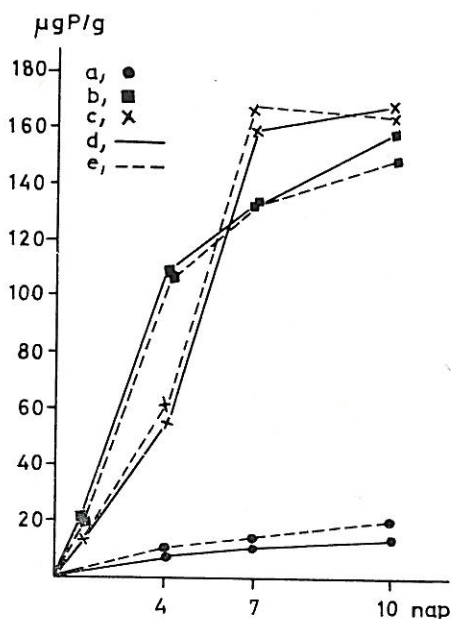


3. ábra

A polifoszfát ($\bar{n} = 174$) hidrolízise steril és nem steril Rossmoyne-i vályogtalajban különböző hőmérsékleten történő inkubálás során. Jelzéseket lásd 1. ábra

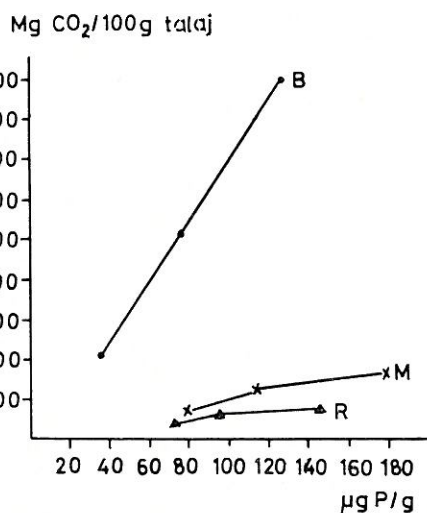
talajokban 42%, 41% ill. 38% volt. A fenti különbségeket a talajok különböző biológiai tulajdonságai okozták. A polifoszfátok kémiai hidrolízisének a mértéke – 10 nap alatt – 55 °C-on 82–96% volt a steril talajokban.

Mindkét vizsgált polifoszfát ($\bar{n} = 174$, ill. 20) hidrolízisének a sebessége közel azonos volt a teljes inkubációs idő alatt (4. ábra), ami arra utal, hogy a



4. ábra

Különböző lánchosszúságú ($\bar{n} = 174$, $\bar{n} = 20$) polifoszfátok hidrolízise a Brookston-i agyagos vályogtalajban különböző hőmérséklet értékeknél. Függőleges tengely, vízszintes tengely: lásd 1. ábránál. a) 40 °C; b) 35 °C; c) 55 °C; d) $\bar{n} = 174$; e) $\bar{n} = 20$



5. ábra

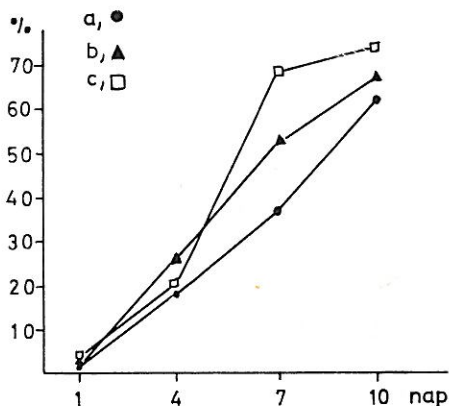
A biológiai aktivitás (fejlődött CO₂) és a polifoszfát hidrolízis összefüggése. (200 µg/g polifoszfát P adva minden talajhoz). Függőleges tengely: mg CO₂/100 g talaj. Vízszintes tengely: ortofoszfát-P, µg P/g

két polifoszfát lebomlási mechanizmusa nem különbözik egymástól. Különböző hőmérsékleteken azonban eltérő a hidrolízis-görbék meredeksége, jelezvén, hogy mind kémiai, mind biológiai hidrolízis történt. Az S alakú hidrolízis-görbe alakja 35 °C-on a hidrolízis biológiai természetére, míg 55 °C-on kémiai jellegére utal.

Az ortofoszfát mennyiségének növekedése és a CO₂ fejlődés közötti lineáris kapcsolat, – amit laboratóriumi hőmérsékleten az összes talajnál tapasztalhatunk (5. ábra) – a biológiai tevékenységnek a talajban levő polifoszfát hidrolízisére gyakorolt hatását jelzi. Az egyes talajok között jelentős különbségek mutatkoztak a lineáris összefüggés jellegében, ami a talajok szerves széntartalmában fennálló különbségekre vezethető vissza. Ez utóbbi tényező viszont erősen befolyásolja a pirofoszfátok hidrolízisét végző mikroflóra aktivitását.

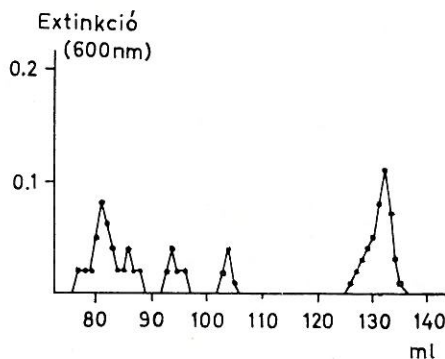
A talajhoz adott szerves szén hatása

A talajok biológiai tevékenysége szerves szén hozzáadásával növelhető. Lényeges kérdésnek látszik a megnövelt biológiai aktivitás hatásának vizsgálata a polifoszfát-hidrolízisre. 1 és 2%-os glükóz alkalmazásakor megnövekedett CO_2 fejlődést mértünk a polifoszfáttal ($\bar{n} = 174$) kezelt minták esetében is, még az olyan talajokban is, mint a Brookston-i agyagos vályogtalaj, amelynek nagy összes — és felvehető — foszfortartalma van (6. ábra). A glükózzal



6. ábra

A glükóz hatása a polifoszfát ($\bar{n} = 174$) hidrolízisére a Brookston-i agyagos vályogtalajban. Függőleges tengely: hidrolizált polifoszfát, %-ban. Vízszintes tengely: idő, napokban. a) talaj poli-P; b) talaj poli-P, 1% glükóz; c) talaj poli-P, 2% glükóz



7. ábra

A Brookston-i agyagos vályogtalajból kioldott polifoszfát hidrolízistermékek méret szerinti megoszlása, (4 napos inkubáció után, 2% glükózzal kezelt talajban). Függőleges tengely: Extinkció (660 nm). Vízszintes tengely: eluáló térfogat, ml.

kezelt talajokban a megnövelt biológiai aktivitás meggyorsította a polifoszfát hidrolízis sebességét (6. ábra). A 2%-os glükózzal kezelt mintákban a polifoszfátnak ($\bar{n} = 174$) kb. 70%-a hidrolizált 7 nap alatt. A kezeletlen minták ezzel szemben csak 38%-os hidrolízist mutattak. 10 napig tartó hidrolízis során nem mutatkozott különbség a két glükóz szint között, míg a 7 napos hidrolízis esetében 15%-kal nagyobb mértékű volt a hidrolízis a 2%-os glükózzal kezelt mintáknál.

A vizsgálatok eredményei eléggé megegyeznek SUTTON és LARSEN [8] megfigyeléseivel, akik azt találták, hogy a pirofoszfátnak ortofoszfáttá való átalakulási sebessége a biológiai aktivitás mértékétől függ. A polifoszfátok hidrolízisének a sebessége a Miami-i és Rossmoyne-i talajokban hasonló volt a Brookston-i talajban mérthez, bár a biológiai aktivitás mértéke eltért. Ebből arra következtethetünk, hogy a polifoszfátok hidrolízise során a talajban a biológiai és kémiai tényezők kölcsönhatása nagyon fontos. Hasonló megfigyelést közölt GILLIAM és SAMPLE [3] is a talajban lejátszódó pirofoszfát hidrolízisről.

Megkíséreltük a polifoszfát ($\bar{n} = 174$) hidrolízis termékeit frakcionálni a 0,5 M-os perklórsavas kivonat Sephadex G-25 oszlopon történő eluálásával.

Ortofoszfát volt a hidrolízis terméke minden esetben, kivéve a 2%-os glükózzal történő 4 napos inkubációt, amikor három különböző hosszúságú lánc-töredék volt a termék (7. ábra).

Összefoglalás

Úgy tűnik, hogy két típusú reakció játszódik le a polifoszfátok lebomlása során: az egyik esetben a láncvégi foszfátkötések egymásutáni felbomlásával csupa ortofoszfát keletkezik, míg a másik esetben a lineáris polifoszfát lánc-molekula két vagy több kisebb, különböző hosszúságú lánc-töredékre bomlik fel. Korábbi vizsgálatok alapján [3, 4] megállapítható, hogy a láncvégi hidrolízis a leggyakrabban bekövetkező hidrolízisforma. Komplex talajkörülmények között több tényező is szerepet játszik a polifoszfátok hidrolitos bomlása során, ezért több egyidejűleg lefolyó reakció eredményezi a hidrolízist.

Steril és nem steril talajokban hasonlítottuk össze a polifoszfátok hidrolízisét. Szobahőmérsékleten (kb. 25 °C) történő inkubálás során, nem steril talajokban a hidrolízis nagymértékben megnövekedett a talajok biológiai aktivitása következtében, jelezve, hogy ilyen körülmények között a hidrolízis részben biológiai folyamatok eredménye. Az eredmények azonban nem elég meggyőzőek annak bizonyítására, hogy a csekély biológiai aktivitású talajokban a polifoszfátok hidrolízise korlátozott lenne. Így, steril talajokban 25 °C-on jelentős mértékű hidrolízist mértünk, ami a kationok, és általában a szervesetlen vegyületek katalitikus hatását jelzi. Magasabb hőmérsékleten, — 35 illetve 55 °C-on — a steril és nem steril talajokban közel azonos volt a hidrolízis mértéke, ami viszont a hőmérséklet kémiai hidrolízist fokozó hatását mutatja.

Glükózzal kezelt talajokban a polifoszfátok hidrolízise megnövekedett a fokozottabb biológiai aktivitás következtében. A polifoszfát ($\bar{n} = 174$) steril és nem steril talajban levő hidrolízis-termékeinek Sephadex G-25-ön történő elválasztása azt mutatja, hogy a polifoszfátok lebomlása a lineáris láncvégekről történő ortofoszfát lehasadással megy végbe. Csak egyetlen esetben, — a glükózzal kezelt Brookston-i agyagos vályogtalajnál — eredményezett a hidrolízis kisebb nagyságú lánc-töredéket. Ez arra utal, hogy a polifoszfátok biológiai rendszerben végbemenő lebomlása a mikrobiológiai populáció jellegétől függően változik.

Irodalom

- [1] BLANCHARD, R. W. & HOSSNER, L. R.: Hydrolysis and sorption reactions of orthophosphate, pyrophosphate, tripolyphosphate and trimetaphosphate anions added to an Elliot soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* **33**, 141—144, 1969.
- [2] BRIGGS, A. P.: A modification of the Bell-Daisy phosphate method. *J. Biol. Chem.* **55**, 13—16, 1922.
- [3] GILLIAM, J. W. & SAMPLE, E. C.: Hydrolysis of pyrophosphate in soils: pH and biological effects. *Soil Sci.* **106**, 352—357, 1968.
- [4] MATTENHEIMER, H.: *Z. physiol. Chem.* **303**, 107—114, 1956. In: Harold, F. M.: *Inorganic polyphosphates in biology: structure, metabolism and function*. *Bact. Rev.* **30**, 772—793, 1966.
- [5] MUHAMMED, A., RODGERS, A. & HUGHES, D. E.: Purification and properties of a polymetaphosphatase from *Corynebacterium zerosis*. *J. Gen. Microbiol.* **20**, 482—495, 1959.

- [6] SLACK, A. V., POTTS, J. M. & SHAFFER, H. B. JR.: Effect of polyphosphate content on properties and use of liquid fertilizers. *J. Agric. Food Chem.* **13**. 165—171. 1965.
- [7] SUTTON, C. D., GUNARY, D. & LARSEN, S.: Pyrophosphate as a source of phosphorus for plants. II. Hydrolysis and initial uptake by barley crop. *Soil Sci.* **101**. 199—204. 1966.
- [8] SUTTON, C. D. & LARSEN, S.: Pyrophosphate as a source of phosphorus from plants. *Soil Sci.* **97**. 196—201. 1964.
- [9] SZYMONA, O. & SZUMILO, T.: ATP and inorganic polyphosphate fructokinases of *Mycobacterium phlei*. *Acta Biochem. Polon.* **17**. 129—144. 1966.
- [10] THILO, E.: Condensed phosphates and arsenates. *Adv. Inorganic Chem. Radio-Chem.* **4**. 1—77. 1962.
- [11] VAN WAZER, J. R.: Phosphorus and its Compounds. Vol. 1. Interscience. New York. 1958.

Érkezett: 1973. május 27.

Hydrolysis of Polyphosphates in Soils

C. P. GHONSIKAR and R. H. MILLER

Department of Soil Science, Rajasthan College of Agriculture, Udaipur, Rajasthan (India) and Ohio State University, Columbus, Ohio (USA)

Summary

The rates of hydrolysis of polyphosphates in sterile soils were compared with those in non-sterile soils. Biological activity in non-sterile soils increased hydrolysis notably at room temperature incubation (approx. 25 °C) indicating that hydrolysis was in part a biological process. The results, however, are not consistent enough to demonstrate that the hydrolysis of polyphosphates would be restricted on soils with low biological activity.

Significant hydrolysis of polyphosphates occurred in sterilized soil samples at temperatures about 25 °C which might indicate the catalytic influence of cations and inorganic minerals on the hydrolysis of polyphosphates. At high temperatures of 35 °C and 55 °C, the rates of hydrolysis were quite similar for both sterile and non-sterile soil samples. This further supports the fact that temperature influenced the rate of reaction and increased the importance of chemical hydrolysis.

Results on the rates of hydrolysis of polyphosphates in glucose amended soils showed an increase corresponding to increased biological activity. Fractionation of reaction products in the hydrolysis of polyphosphate ($\bar{n} = 174$) in sterile and non-sterile soils as studied by separation on Sephadex G-25 column indicated that the degradation of polyphosphates follows terminal cleavage of the orthophosphate bond from a linear chain. Only in one case, that is in 2% glucose amended Brookston silty clay loam did hydrolysis to a small degree occur. This might suggest that the mechanism of degradation in a biological system varies with the kind of microbial population in the system.

Table 1. Physical and chemical properties of soils. (1) Soils. (2) Internal soil drainage: a) Slow; b) Moderate; c) Moderate to slow. (3) Mechanical analysis, %. (4) Sand. (5) Silt. (6) Clay. (7) Texture. (8) Organic C. (9) Exchangeable cations, me/100 g soil.

Figure 1. Hydrolysis of polyphosphate ($\bar{n} = 174$) in sterilized and non-sterile Brookston silty clay loam incubated at different temperatures. Vertical axis: orthophosphate-P, $\mu\text{g P/g}$. Horizontal axis: time in days. a) 4 °C, b) room temperature (approx. 25 °C), c) 35 °C, d) 55 °C, e) sterilized soil, f) non-sterile soil.

Figure 2. Hydrolysis of polyphosphate ($\bar{n} = 174$) in sterilized and non-sterile Miami silt loam incubated at different temperatures. Vertical axis, horizontal axis, a)–f): see in Fig. 1.

Figure 3. Hydrolysis of polyphosphate ($\bar{n} = 174$) in sterilized and non-sterile Rossmoyne silt loam incubated at different temperatures. Vertical axis, horizontal axis, a)–f): see in Fig. 1.

Figure 4. Hydrolysis of polyphosphates of different chain length ($\bar{n} = 174$, $\bar{n} = 20$) in Brookston silty clay loam at different temperatures. Vertical axis, horizontal axis; see in Fig. 1. a) 4 °C, b) 35 °C, c) 55 °C, d) $\bar{n} = 174$, e) $\bar{n} = 20$.

Figure 5. Relationship between biological activity (CO_2 evolved) and the rate of hydrolysis of polyphosphates. (200 $\mu\text{g/g}$ of poly P was added to each of the soil.) Vertical axis: $\text{Mg CO}_2/100 \text{ g soil}$. Horizontal axis: orthophosphate-P, $\mu\text{g P/g}$. B = Brookston, M = Miami, R = Rossmoyne.

Figure 6. Influence of glucose on hydrolysis of added polyphosphate ($\bar{n} = 174$) in Brookston silty clay loam. Vertical axis: polyphosphate hydrolysed, %. Horizontal axis: time in days. a) soil poly P, b) soil poly P 1% glucose, c) soil poly P 2% glucose.

Figure 7. Size distribution of added polyphosphate extracted from Brookston silty clay loam after 4-day incubation with 2% glucose. Vertical axis: optical density (660 nm). Horizontal axis: elution volume, ml.

Hydrolyse des polyphosphates dans le sol

C. P. GHONSIKAR et R. H. MILLER

Département de la Science du Sol, École Supérieure d'Agriculture de Rajasthan, Udaipur (Inde) et Université Nationale d'Ohio, Colombus (Etats-Unis)

Résumé

L'hydrolyse des polyphosphates était comparée dans des échantillons de sol stérilisés et non stérilisés. Au cours de l'incubation à température de chambre (environ 25 °C), l'hydrolyse a augmenté considérablement dans les sols non stérilisés, indiquant que dans ces conditions l'hydrolyse est en partie un résultat des procès biologiques. Cependant, les données obtenues ne sont pas assez convaincantes pour prouver que l'hydrolyse des polyphosphates soit limitée dans les sols à l'activité biologique faible.

Dans les échantillons de sol stérilisés on a observé à 25 °C une forte hydrolyse qui pourrait indiquer l'effet catalytique des cations et, en général, des composés inorganiques. Aux plus hautes températures (35 et 55 °C, resp.) la mesure de l'hydrolyse était plutôt similaire dans des échantillons stérilisés et non stérilisés, supportant l'observation que la température a une influence sur l'hydrolyse chimique.

Dans les échantillons de sol traités avec du glucose la mesure de l'hydrolyse des polyphosphates a augmenté en conséquence de l'activité biologique plus forte. Après avoir séparé sur des colonnes de Sephadex G-25 les produits de réaction formés pendant l'hydrolyse des polyphosphates ($\bar{n} = 174$) dans des échantillons stérilisés et non stérilisés on pouvait établir que la dégradation des polyphosphates s'est accompli par le clivage final de l'orthophosphate d'une chaîne linéaire. Ce n'est qu'en un seul cas — dans le limon argileux de Brookston traité avec 2% de glucose — que l'hydrolyse avait pour effet un plus petit fragment de chaîne. Ce fait peut indiquer que la dégradation des polyphosphates dans un système biologique est différente selon le type de la population biologique.

Tableau 1. Propriétés physiques et chimiques des sols. (1) Origine des échantillons de sol. (2) Perméabilité à l'eau a) lente, b) moyenne, c) entre lente et moyenne. (3) Analyse mécanique, %. (4) Sable. (5) Limon. (6) Argile. (7) Texture (limon argileux et limon). (8) C organique. (9) Cations échangeables meq/100 g de sol.

Fig. 1. Hydrolyse des polyphosphates ($\bar{n} = 174$) dans des échantillons de limon argileux de Brookston stérilisés et non stérilisés, pendant l'incubation aux différentes températures. Axe vertical: P-orthophosphate, $\mu\text{g/g}$. Axe horizontal: durée, jours. a) 4 °C; b) température de chambre (environ 25 °C); c) 35 °C; d) 55 °C; e) échantillons stérilisés; f) échantillons non stérilisés.

Fig. 2. Hydrolyse des polyphosphates ($\bar{n} = 174$) dans des échantillons de limon de Miami stérilisés et non stérilisés, pendant l'incubation aux différentes températures. Axe vertical et horizontal, a)–f) voir Fig. 1.

Fig. 3. Hydrolyse des polyphosphates ($\bar{n} = 174$) dans des échantillons de limon de Rossmoyne stérilisés et non stérilisés, pendant l'incubation aux différentes températures. Axe vertical et horizontal, a)–f) voir Fig. 1.

Fig. 4. Hydrolyse des polyphosphates aux longueurs de chaîne différentes ($\bar{n} = 174$, $\bar{n} = 20$) dans des échantillons de limon argileux de Brookston, pendant l'incubation aux différentes températures. Axe vertical et horizontal voir Fig. 1. a) 4 °C; b) 35 °C; c) 55 °C; d) $\bar{n} = 174$; e) $\bar{n} = 20$

Fig. 5. Rapport entre l'activité biologique (CO_2 naissant) et la mesure de l'hydrolyse des polyphosphates (on a ajouté 200 $\mu\text{g/g}$ de polyphosphate à chaque échantillon de sol). Axe vertical: mg $\text{CO}_2/100$ g de sol. Axe horizontal: orthophosphate-P, $\mu\text{g P/g}$. B — Brookston, M — Miami, R — Rossmoyne

Fig. 6. Effet du glucose sur l'hydrolyse du polyphosphate ($\bar{n} = 174$) dans des échantillons de limon argileux de Brookston. Axe vertical: polyphosphate hydrolysé, %. Axe horizontal: durée, jours. a) polyphosphate du sol; b) polyphosphate du sol + 1% glucose; c) polyphosphate du sol + 2% glucose

Fig. 7. Distribution selon dimension des produits d'hydrolyse des polyphosphates extraits du limon argileux de Brookston, traité avec 2% de glucose (après 4 jours d'incubation). Axe vertical: extinction (660 nm). Axe horizontal: volume d'élution, ml

Гидролиз полифосфатов в почве

Ц. П. ГХОНШИКАР и Р. Х. МИЛЛЕР

Высшая сельскохозяйственная школа, Кафедра почвоведения, Удаипур, Райястан (Индия) и Государственный Университет в Охио, Колумбия, Охио (США)

Резюме

Сравнили гидролиз полифосфатов в стерильных и нестерильных почвах. В ходе инкубирования при комнатной температуре (примерно 25°C) в нестерильных почвах гидролиз возрастал в значительной степени в результате биологической активности почвы, указывая на то, что в этих условиях гидролиз частично является результатом биологических процессов. Все же полученные результаты еще недостаточны для подтверждения того, что в почвах с низкой биологической активностью гидролиз полифосфатов ограничен. Так, в стерильных почвах при температуре 25°C отметили значительный гидролиз, что обозначает каталитической эффект катионов и вообще неорганических соединений. При более высокой температуре — 35 или 55°C — степень гидролиза была почти одинаковой как в стерильных, так и в нестерильных почвах, что указывает на повышение химического гидролиза под влиянием температуры.

В почвах обработанных глюкозой гидролиз полифосфатов возрастал в результате повышения биологической активности. Выделение на Sephadex G-25 продуктов гидролиза полифосфата ($\bar{n} = 174$) в стерильных и нестерильных почвах показало, что распад полифосфатов происходит отщипливанием ортофосфата с концов линейной цепи. Только в одном случае — в Брукстонских тяжелосуглинистых почвах обработанных глюкозой — гидролиз привел к образованию обрывков цепи. Это указывает на то, что распад полифосфатов в биологической системе изменяется в зависимости от характера микробиологической популяции.

Табл. 1. Физические и химические свойства изученных почв. (1) Почвы. (2) Водопроницаемость. (3) Механический состав. (4) Песок. (5) Ил. (6) Глина. (7) Материал. (8) Органический С. (9) Обменные катионы в мг. экв./100 г почвы. а) слабое. б) среднее. с) слабое-среднее.

Рис. 1. Гидролиз полифосфата ($\bar{n} = 174$) в стерильной и нестерильной Брукстонской тяжелосуглинистой почве при различных температурах инкубации. На ординате: ортофосфат-P, $\mu\text{g P/g}$. На абсциссе: время в днях. а) 4°C. б) комнатная температура (примерно 25°C). с) 35°C. д) 55°C. е) стерильная почва. ф) нестерильная почва.

Рис. 2. Гидролиз полифосфата ($\bar{n} = 174$) в стерильных и нестерильных суглинистых почвах из Миами при различных температурах инкубации. На ординате; на абсциссе от а) до ф) смотри на рисунке 1.

Рис. 3. Гидролиз полифосфата ($\bar{n} = 174$) в стерильных и нестерильных суглинистых почвах Рошмонне при различных температурах инкубации. На ординате, на абсциссе от а) до ф) смотри на рисунке 1.

Рис. 4. Гидролиз полифосфатов с различной длиной цепи ($n = 174$, $\bar{n} = 20$) в Брукстонской тяжелосуглинистой почве при различных температурах инкубации. На ординате, на абсциссе: смотри на рисунке 1. а) 4°C. б) 35°C. с) 55°C. д) ($\bar{n} = 174$). е) $\bar{n} = 20$.

Рис. 5. Зависимость между биологической активностью (возрастающее количество CO_2) и гидролизом полифосфата. (в каждую почву прибавляли $200 \mu\text{g/g}$ полифосфата-Р). На ординате: CO_2 в мг на 100 г почвы. На абсциссе: ортофосфат-Р, $\mu\text{gP/g}$. В = Брукстон, М = Миами, R = Рошшмонне.

Рис. 6. Влияние глюкозы на гидролиз полифосфата ($\bar{n} = 174$) в Брукстонской тяжелосуглинистой почве. На ординате: гидролизированный полифосфат, в %. На абсциссе: время в днях. а) почвенный полифосфат. б) почвенный полифосфат, 1% глюкозы с) почвенный полифосфат, 2% глюкозы.

Рис. 7. Распределение по размерам продуктов гидролиза полифосфата, растворенного из Брукстонской тяжелосуглинистой почвы (после 4-х дней инкубации, в почве обработанной 2% глюкозой). На ординате: Экстинкция (660 нм), на абсциссе: объем элюэнта в мл.